



Modifikasi Motor BLDC Wheelhub Berdasarkan Analisa Efek Ketebalan Magnet Terhadap Torsi dan RPM

Aldo Juan Widodo ^{1*}

Fakultas Teknik Elektro, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia

Correspondence: aldojuan@student.ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Pengembangan motor di Indonesia sedang populer, terutama pada motor DC brushless wheel hub (BLDC tipe Wheelhub). Motor ini memiliki keunggulan seperti kebisingan yang rendah, efisiensi tinggi, putaran yang optimal, kecepatan tinggi, dan mudah dibawa. Performa motor ini sangat dipengaruhi oleh desain motor magnet, yang mempengaruhi putaran dan efisiensi motor. Untuk mencapai putaran dan output rpm yang optimal dari aplikasi wheel hub brushless DC, desain motor magnet diidentifikasi menggunakan perangkat lunak Ansys Motor CAD. Nilai putaran dan rpm motor magnet kemudian digunakan untuk menghitung motor hub roda yang ada (Volta). Penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami dinamika industri motor hub di Indonesia, memberikan wawasan tentang modifikasi magnet dan kemajuan teknologi. Pengetahuan ini dapat digunakan sebagai titik awal untuk merancang hub motor yang lebih efisien dan tahan lama di lapangan. Studi ini memvalidasi simulasi hub roda motor yang sudah ada dan desain magnet hub roda motor yang dimodifikasi menggunakan perangkat lunak ANSYS Motor CAD, yang memungkinkan analisis virtual terhadap kinerja dan karakteristik motor sebelum diterapkan pada motor.

Kata Kunci: Motor BLDC, Torsi, RPM

Modifying BLDC Wheelhub Motor Based On Analysis Of Magnet Thickness On Torque And Rpm Effects

Abstract: Motor development in Indonesia is popular, particularly in the wheel hub brushless DC (BLDC type Wheelhub) motor. This motor has advantages such as low noise, high efficiency, optimal rotation, high speed, and easy portability. The performance of this motor is heavily influenced by magnet motor design, affecting the rotation and efficiency of the motor. To achieve optimal rotation and rpm output from the wheel hub brushless DC application, the magnet motor design is identified using the Ansys Motor CAD software. The magnet motor's rotation and rpm values are then used to calculate the existing wheel hub motor (Volta). This study contributes significantly to understanding the motor hub industry dynamics in Indonesia, providing insights into magnet modification and technological advancements. This knowledge can be used as a starting point for designing more efficient and long-lasting motor hubs in the field. The study validates existing motor wheel hub simulations and motor wheel hub modified magnet magnet design using ANSYS Motor CAD software, allowing for virtual analysis of motor performance and characteristics before being applied to the motor.

Keywords: BLDC motor, Torque, RPM

1. Pendahuluan

Penggunaan minyak di Indonesia telah meningkat setiap tahun, mencapai 67,3 juta pada tahun 2009 dan 129,2 juta pada tahun 2016, mendorong Presiden Joko Widodo untuk mendorong penggunaan minyak. Analisis mode distribusi dan ekstraksi oli menunjukkan bahwa motor hub oli memiliki struktur yang kuat, reometri interior, kendaraan yang stabil, kontrol yang mudah, dan banyak manfaat. Hal ini disebabkan oleh perkembangan baru yang mempengaruhi kinerja produksi minyak, dan mode distribusi menjadi mode minyak utama di masa depan[1]. Motor DC brushless digunakan dalam list driving karena torsi tinggi dan torsi awal yang baik untuk mencapai list driving yang baru. Terdiri dari dua bagian wheelhub dan MID-drive, yang mentransfer torsi dari motor ke batang, menggunakan sistem transmisi seperti gir atau rantai. Hal ini memungkinkan pengoptimalan torsi yang lebih baik dan mengurangi kebutuhan akan sistem transmisi hub roda[2]. Magnet ketebalan motor BLDC wheelhub membantu kinerjanya signifikan[3]. Peningkatan duty cycle PWM dan tegangan suplai dapat menyebabkan perubahan motor. Ramdhany menyebabkan motor BLDC yang dimodifikasi dapat menghasilkan daya listrik pada kecepatan rendah[4]. Sriyanto menyoroti input tegangan dalam meningkatkan daya motor BLDC, terutama dengan ukuran baling-baling[5]. Kurniati menekan peran pelapisan magnet dan jarak celah udara dalam meningkatkan kinerja motor DC magnet permanen, yang dapat diterapkan pada desain motor wheelhub BLDC[6].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Motor BLDC Tipe Wheelhub

Sejumlah penelitian mengeksplorasi pengembangan dan pengoperasian motor BLDC, dengan Lee dan Madani berfokus pada desain dan kinerjanya, dengan Lee menyoroti efektivitas biaya dan fleksibilitas motor BLDC untuk aplikasi listrik dan hibrida. Sejumlah penelitian mengeksplorasi pengembangan dan pengoperasian motor BLDC, dengan Lee dan Madani berfokus pada desain dan kinerjanya, yang menentukan efektivitas biaya dan kinerjanya untuk aplikasi listrik dan hibrida[7],[8]. Laskaris membandingkan konfigurasi modular untuk penggerak motor BLDC, sementara Kladas mengembangkan penggerak kontrol kecepatan untuk motor BLDC menggunakan mikrokontroler, yang berkontribusi dalam kemajuan penggerak motor BLDC[9].



Gambar 2. 1 BLDC Tipe Wheelhub Motor

Sejumlah penelitian telah mengeksplorasi desain dan kinerja hub motor DC tanpa sikat. Wu mengembangkan hub motor baru dengan motor listronic terintegrasi untuk kecepatan dan transmisi[10]. Borchardt mengusulkan struktur baru untuk hub motor BLDC, mengurangi konsumsi daya dan menerapkan sistem kontrol[11]. Penelitian-penelitian ini berkontribusi pada kemajuan teknologi hub motor BLDC[12].

Tabel 2. 1 Spesifikasi Wheelhub Motor Eksisting

No.	Parameter	Nilai dan Satuan
1.	Tegangan	48 V
2.	Daya	650 W
3.	Tipe Gulungan	Parallel
4.	Jumlah Slot Stator	63
5.	Jumlah Kutub	56
6.	Ketebalan Rotor	7.9 mm
7.	Ketebalan Magnet	2.2 mm

Motor ini dirancang untuk kinerja dan efisiensi optimal dalam aplikasi hub roda pada rak daftar. Dengan daya 650 watt dan 48 V, motor ini dapat menangani berbagai jenis rak daftar seperti samping dan samping. Catu daya paralel terhubung ke stator untuk kinerja yang optimal. Konfigurasi stator 63 slot dan 56 rotor menciptakan keseimbangan antara torsi dan kecepatan.

Rotor and magnet ketebalan terukur membantu dimensi motor secara keseluruhan, dan ketebalan magnet terukur memberikan informasi penting bagi pengguna atau perancang kendaraan listrik untuk memilih motor yang sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi[13].

2.2 Stator dan Rotor

Stator adalah bagian dari motor listrik, yang terdiri dari motor input dan motor DC bebas DC[14]. Stator menggunakan magnet untuk menggerakkan rotor dan menghasilkan daya listrik dari sumber eksternal, yang memainkan peran penting dalam kemagnetan. Jumlah kumparan stator didefinisikan dalam persamaan (1).

$$NS = p \times \frac{Nph}{2}$$

Dimana :

NS : Jumlah Kumparan

p : Jumlah Pole

Nph : Jumlah Phasa



Gambar 2. 2 Desain Stator Motor Eksisting

Rotor adalah komponen kunci dalam motor, terletak di dekat stator dan magnet. Rotor memainkan peran penting dalam mengatur energi listrik motor, yang menyebabkan rotasi roda gigi atau mekanisme lainnya[15]. Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan jumlah kutub magnet pada rotor (2).

$$p = \frac{120 \times f}{n}$$

Dimana :

p : Jumlah Pole

f : Frekuensi

n : Kecepatan Motor



Gambar 2. 3 Rotor Pada Hub Motor

2.3 Kemagnetan (Magnetostatika)

Hub Motor BLDC digunakan untuk membuat magnet untuk kontrol kecepatan rotasi, dengan fokus pada efisiensi dan kinerja motor. Parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi fluks magnet adalah fluks magnet, yang menunjukkan arus magnet. Sensitivitas yang baik dari BLDC Motor Hub membantu mencapai kerja yang efisien, respons yang cepat, dan responsif dalam berbagai aplikasi. Permeabilitas adalah kemampuan untuk menangkap periode waktu yang signifikan melalui gerakannya sendiri, diukur dalam Hertz per meter (H/m) atau dimensi relatif (μ_r). Untuk mencari nilai permeabilitas magnet pada suatu bahan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3).

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Dimana :

μ : Permeabilitas magnet (Wb/Am)

B : Rapat fluks magnetik (Tesla)

H : Kuat medan magnet (A/m)



Gambar 2. 4 Magnet NdFeB

2.4 Torsi dan Rpm

Torsi adalah rotasi yang diterapkan pada objek sekitar sumbu rotasinya, diukur dalam satuan newton-meter (Nm) dan mewakili kekuatan. Torsi membantu membuat mesin dan motor, dan sering kali menjadi parameter kunci untuk membuat mesin dalam menghasilkan daya putar. RPM (Rotasi Per Menit) adalah ukuran kecepatan suatu objek atau proses pada tempo tertentu[18].

Hubungan antara torsi (T) dan RPM (Rotasi Per Menit) pada suatu motor atau sistem rotasi dapat dinyatakan dengan persamaan (4).

$$T = \frac{P}{2\pi \cdot RPM}$$

di mana:

T = torsi (dalam Nm atau Newton-meter)

P = daya (dalam watt),

π = konstanta matematika Pi (sekitar 3.14159),

RPM = rotasi per menit.

Penelitian ini mengungkapkan bahwa rotasi dan RPM memiliki hubungan terbalik. Jika rotasi meningkat, RPM (kecepatan putaran) menurun dan sebaliknya. Hal ini berlaku pada prinsip simetri dalam motor atau sistem kontrol. Jika rotasi menurun, kecepatan rotasi biasanya meningkat dan sebaliknya. Studi ini membantu memahami hubungan antara putaran, rotasi, dan kecepatan dalam sistem mekanik atau listrik[19].

2.5 Efisiensi Motor

Pada pengujian yang dilakukan pada motor listrik dihitung efisiensinya yaitu digunakan rumus daya keluaran dari hasil pengujian yang dilakukan, yang kemudian dibagi dengan daya masukan motor hub kendaraan bermotor. Anda dapat menemukan sendiri persamaan (6).

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Dimana,

P_{out} : Daya keluar

P_{in} : Daya masuk

Tenaga mekanik dapat diukur atau diperkirakan berdasarkan torsi kendaraan dan kecepatan roda. Harus dipahami bahwa efisiensi motor hub dapat bervariasi tergantung pada kondisi pengoperasian seperti beban mesin, kecepatan kendaraan, dan efisiensi kontrol elektronik yang digunakan dalam sistem. Oleh karena itu, efisiensi motor hub dapat bervariasi dalam situasi pengoperasian yang berbeda.

2.6 Tabel 2. 2 State Of art Effisiensi

Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
N. Borchardt	Design of a Wheel-hub Motor with Air Gap Winding and Simultaneous Utilization of all Magnetic Poles	Tenaga mekanik dapat diukur atau diperkirakan berdasarkan torsi kendaraan dan kecepatan roda. Harus dipahami bahwa efisiensi motor hub dapat bervariasi tergantung pada kondisi pengoperasian seperti beban mesin, kecepatan kendaraan, dan efisiensi kontrol elektronik yang digunakan dalam sistem.
Sariman	Analisa Kapasitas Outrunner Motor BLDC sebagai Penggerak Mini Water Pump dengan Baterai 12 Volt Dari Sumber Energi Matahari	Efisiensi tertinggi motor BLDC ditemukan pada ukuran 35 x 36 mm di bawah beban sebesar 87,75%. Efisiensi motor BLDC mencapai 87,75% di bawah kondisi tanpa beban dengan debit air 0,5968 L/s. Konsumsi daya pada baterai sebesar 238,2195 watt dengan waktu penggunaan baterai selama 7,585 menit di bawah kondisi tanpa beban.
S. Racewicz	Use of 3 kW BLDC motor for light two-wheeled electric vehicle construction	Sumber tenaga utama adalah motor BLDC yang telah dipasang di hub roda belakang dan ditenagai oleh 220 sel daya lithium-ion dengan kapasitas masing-masing 2.600 mAh.
Jimmy Linggarjati	Optimasi Penentuan Jenis MOSFET pada Pengendali Elektronika Motor BLDC	Pemilihan MOSFET yang sesuai untuk spesifikasi motor BLDC yang diberikan sangat penting selama implementasi.

Penelitian ini meneliti berbagai aspek yang berkaitan dengan performa motor BLDC, termasuk output daya, efisiensi motor, resistansi awal, dan komponen elektronik seperti MOSFET. Penelitian tersebut menemukan bahwa magnet dengan ukuran 2.2mm, 2.6mm, dan 3.0mm memiliki hasil yang baik, dengan magnet 3.0mm menghasilkan torsi dan kecepatan relatif (rpm) yang lebih tinggi daripada magnet 2.2mm. Hal ini menghasilkan perbedaan yang signifikan antara efek magnet pada performa motor. Magnet 3.0mm direkomendasikan sebagai solusi untuk meningkatkan torsi dan RPM, yang mengarah ke hub roda motor yang lebih efisien dan dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik. Sistem yang efektif adalah sistem yang membantu menjaga hubungan antara input dan output, yang mempengaruhi efisiensi. Parameter input dan output meningkat tanpa perubahan yang signifikan secara statistik, sementara parameter output meningkat tanpa perubahan proporsional, sehingga menghasilkan kestabilan yang relatif. Efisiensi akan maksimal ketika output optimal dengan input yang paling sesuai.

3. Metode dan Pemodelan

Penelitian ini menguraikan beberapa langkah dalam melakukan studi tentang modifikasi motor hub roda dengan menggunakan perubahan magnet. Langkah pertama adalah mencari literatur, buku, jurnal, dan internet untuk memahami karakteristik komponen, prinsip kerja, dan teori. Langkah kedua adalah perancangan motor, yang meliputi penentuan parameter yang dibutuhkan untuk modifikasi, menghitung nilai parameter magnet, dan mengimplementasikan perangkat lunak Ansys Motor CAD untuk pengambilan data.

Langkah ketiga adalah simulasi motor, yang menggunakan perangkat lunak Ansys Motor CAD untuk mensimulasikan perubahan magnet motor. Proses simulasi meliputi penggunaan data geometris, perhitungan parameter magnet motor, dan data keluaran.

Langkah keempat adalah pembuatan prototipe motor, yaitu proses yang melibatkan modifikasi parameter magnet motor. Prototipe motor kemudian diuji dengan menggunakan perangkat lunak Ansys Motor CAD untuk menentukan torsi dan rpm yang optimal berdasarkan hasil simulasi.

Langkah kelima adalah validasi dan pengesahan motor yang telah dimodifikasi, yang meliputi modifikasi parameter magnet motor dan validasi performa motor dengan menggunakan perangkat lunak Ansys Motor CAD dan uji dinamis.

Langkah keenam adalah analisis data yang dikumpulkan, yang meliputi rpm, torsi (Nm), dan efisiensi (%) dari wheelhub motor yang telah dimodifikasi. Analisis perubahan parameter magnet melibatkan simulasi wheel hub motor, pengukuran parameter magnet, dan realisasi perubahan geometri magnet.

Langkah ketujuh adalah evaluasi dan pengembangan prototipe motor. Langkah terakhir adalah pengembangan prototipe motor yang akan digunakan sebagai referensi untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya.

4. Hasil dan Analisa

Simulasi magnet 2,2mm membantu performasi yang memadai dan membantu menyebabkan keseimbangan yang baik antara kekuatan magnet dan bobot motor, namun mungkin memiliki keterbatasan dalam kekuatan magnetik. Peningkatan magnet 2,6mm membantu peningkatan dalam kekuatan magnetik, yang membantu meningkatkan torsi dan daya motor secara keseluruhan, dan membantu memperhatikan potensial peningkatan berat dan ukuran motor sebagai dampak dari penambahan material magnet. Penambahan magnet 3,0mm membantu menghasilkan performa terbaik dalam hal kekuatan magnetik, berarti peningkatan torsi dan kinerja yang baik secara keseluruhan.

4.1. Hasil Simulasi Variasi Ketebalan Magnet

Modifikasi motor meningkatkan torsi pada kecepatan yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan daya dan kecepatan magnet yang lebih tinggi. Hal ini dapat dilihat sebagai pertukaran antara kebutuhan aplikasi.

RPM			Torque		
Magnet 2,2mm	Magnet 2,6mm	Magnet 3,0mm	Magnet 2,2mm	Magnet 2,6mm	Magnet 3,0mm
50.3	49.0	48.0	40.0	41.0	41.8
100.5	97.9	96.0	39.9	40.9	41.7
150.8	146.9	144.0	39.6	40.7	41.4
201.1	195.8	192.0	39.2	40.4	41.1
251.3	244.8	240.0	37.1	38.3	39.3
301.6	293.7	288.0	34.5	35.5	36.2
351.9	342.7	336.0	26.4	28.1	29.4
402.1	391.6	384.0	20.7	20.7	20.7
452.4	440.6	432.0	16.0	15.7	15.5
502.7	489.5	480.0	12.4	11.7	11.2

Tabel 4.1 memberikan data tentang RPM dan Torsi untuk berbagai konfigurasi magnet, dengan RPM yang mempengaruhi kecepatan motor, sedangkan Torsi adalah perbedaan antara kecepatan motor yang berbeda. Tabel ini juga memberikan informasi tentang hubungan antara RPM dan Torsi dan kinerja motor dalam kondisi yang berbeda.

4.1.1. Perbandingan RPM Pada Motor Eksisting Dengan Modifikasi

Data RPM untuk tiga magnet (2.2mm, 2.6mm, 3.0mm) pada BLDC Wheelhub memberikan informasi tentang perubahan RPM berdasarkan berbagai kondisi magnet. Data menunjukkan bahwa RPM yang lebih tinggi menghasilkan kinerja magnet yang lebih tinggi dan perbedaan antara ukuran magnet, dengan RPM 4.0mm, membantu dalam memahami redaman RPM pada aplikasi tertentu.

Tabel 4. 1 Data Rpm pada Motor Wheelhub

Data RPM Pada BLDC Wheelhub		
Magnet 2,2mm	Magnet 2,6mm	Magnet 3,0mm
50.3	49.0	48.0
100.5	97.9	96.0
150.8	146.9	144.0
201.1	195.8	192.0
251.3	244.8	240.0
301.6	293.7	288.0
351.9	342.7	336.0
402.1	391.6	384.0
452.4	440.6	432.0
502.7	489.5	480.0

Data menunjukkan bahwa RPM yang lebih tinggi menunjukkan penurunan kinerja magnet, sementara RPM yang lebih tinggi menunjukkan kinerja magnet yang lebih tinggi.

Data juga menunjukkan perbedaan antara ukuran magnet, dengan RPM tertinggi pada 4.0mm. Informasi ini dapat membantu memahami dampak RPM pada aplikasi tertentu.

4.1.2 Perbandingan Torque Pada Motor Eksisting Dengan Modifikasi

Data torsi BLDC Wheelhub untuk tiga magnet yang berbeda (2.2mm, 2.6mm, dan 3.0mm) memberikan informasi tentang perubahan torsi berdasarkan kondisi magnet dan hubungan antara torsi dan daya magnet, dengan daya magnet yang lebih tinggi mempengaruhi perubahan torsi. Analisis komprehensif ini membantu mengoptimalkan kinerja sistem berdasarkan kinerja aplikasi tertentu.

Tabel 4. 2 Data Torque Pada Motor Wheelhub

Data Torque Pada BLDC Wheelhub		
Magnet 2,2mm	Magnet 2,6mm	Magnet 3,0mm
40.0 Nm	41.0 Nm	41.8 Nm
39.9 Nm	40.9 Nm	41.7 Nm
39.6 Nm	40.7 Nm	41.4 Nm
39.2 Nm	40.4 Nm	41.1 Nm
37.1 Nm	38.3 Nm	39.3 Nm
34.5 Nm	35.5 Nm	36.2 Nm
26.4 Nm	28.1 Nm	29.4 Nm
20.7 Nm	20.7 Nm	20.7 Nm
16.0 Nm	15.7 Nm	15.5 Nm
12.4 Nm	11.7 Nm	11.2 Nm

Data tersebut juga menunjukkan hubungan antara torsi dan kekuatan magnet, dengan kekuatan magnet yang lebih tinggi mempengaruhi perubahan torsi. Analisis torsi data memberikan pemahaman yang komprehensif tentang kinerja sistem dalam menyesuaikan torsi untuk berbagai kondisi magnet. Analisis ini dapat membantu mengoptimalkan kinerja sistem berdasarkan persyaratan aplikasi tertentu.

4.2. Trafic Force Pada Setiap Ketebalan Magnet

Ketebalan magnet dapat mengubah arah putaran dan rotasi, yang mempengaruhi kecepatan magnet. Perubahan konfigurasi magnet BLDC Wheelhub dapat memengaruhi efisiensi dan kecepatan. Perubahan rotasi yang lebih besar mungkin tidak berdampak signifikan terhadap kinerja gaya lalu lintas. Evaluasi eksperimental dan simulasi dapat digunakan untuk menentukan efek spesifik dari perubahan magnet magnet pada kekuatan lalu lintas. Gaya tarik magnetik (traffic force) dapat dihitung menggunakan persamaan (7).

$$F = \frac{T}{r \cdot \eta}$$

F = gaya tarik magnetik,

T = torsi (Torque),

r = jari-jari roda atau perangkat yang diukur dari pusat putaran,

η = efisiensi

Tabel 4. 3 Data Trafic Force

Magnet 2,2mm				Magnet 2,6mm				Magnet 3,0mm			
RPM	Torque (Nm)	Effisiensi %	Trafic Force(N)	RPM	Torque (Nm)	Effisiensi %	Trafic Force (N)	RPM	Torque (Nm)	Efficiency %	Trafic Force (N)
50.3	40.0 Nm	42.00%	18.1 N	48.95	41.01 Nm	42.08%	18.34 N	48	41.8 Nm	42.10%	0.365 N
100.5	39.9 Nm	59.10%	6.4 N	97.91	40.93 Nm	58.92%	11.71 N	96	41.7 Nm	58.80%	0.204 N
150.8	39.6 Nm	68.20%	3.7 N	146.86	40.66 Nm	68.23%	9.49 N	144	41.4 Nm	68.30%	0.246 N
201.1	39.2 Nm	73.60%	2.5 N	195.82	40.38 Nm	73.55%	8.51 N	192	41.1 Nm	73.70%	0.31N
251.3	37.1 Nm	77.90%	1.8 N	244.77	38.31 Nm	77.80%	7.48 N	240	39.3 Nm	78.00%	0.316 N
301.6	34.5 Nm	84.60%	1.3 N	293.73	35.52 Nm	84.26%	6.56 N	288	36.2 Nm	84.20%	0.306N
351.9	26.4 Nm	85.90%	0.8 N	342.68	28.05 Nm	85.85%	3.78 N	336	29.4 Nm	86.20%	0.225 N
402.1	20.7 Nm	0%	∞ N	391.63	20.68 Nm	0%	∞ N	384	20.7 Nm	0%	∞ N
452.4	16.0 Nm	85.90%	0.4 N	440.59	15.72 Nm	85.64%	1.47 N	432	15.5 Nm	85.70%	0.308 N
502.7	12.4 Nm	87.40%	0.3 N	489.54	11.67 Nm	87.19%	1.00 N	480	11.2 Nm	87.20%	0.202 N

Panjang magnet 2,2 mm dipengaruhi oleh parameter seperti efisiensi sistem, rotasi, dan kecepatan rotasi (RPM). RPM yang lebih tinggi akan menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik dan mengurangi keausan. RPM yang lebih tinggi juga meningkatkan sensitivitas sistem terhadap perubahan rotasi, menyebabkan panjang magnet berkurang. Torque Envelope 4,0 Nm dan Trafic Force 18,1 Nm memiliki korelasi positif antara magnet dan lentur, tetapi Torque Envelope yang lebih tinggi dan Trafic Force yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sistem dapat mencapai efisiensi atau perilaku karakteristik dengan magnet lentur yang lebih tinggi. Namun, Torque Envelope juga lebih tinggi daripada tendon lainnya, yang menunjukkan hubungan yang kompleks antara torsi dan magnet.

Panjang magnet 2,6mm dipengaruhi oleh RPM dan ukuran magnet, yang dapat bervariasi tergantung pada berat dan desain magnet. Panjang magnet 2,6 mm bertambah seiring dengan RPM, yang mengindikasikan potensi masalah operasional. RPM yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sistem dapat mencapai kecepatan magnet yang tinggi. Panjang magnet 3,6 mm dipengaruhi oleh RPM dan rotasi sistem. Pada RPM 48, sistem mencapai rotasi 2,8 N dengan efisiensi 42,1%, tetapi efisiensi menurun dengan RPM. Efisiensi mencapai 0% pada RPM 384.0, tetapi efisiensi turun menjadi 0 pada RPM 432.0, dengan efisiensi 85,7%, menghasilkan rotasi 0,608 N yang signifikan.

Panjang magnet 3,0mm dipengaruhi oleh RPM dan ukuran magnet, yang dapat bervariasi tergantung pada berat dan desain magnet. Panjang magnet 3,0 mm bertambah seiring dengan RPM pengukuran magnet dipengaruhi oleh RPM dan rotasi sistem. Pada RPM 48, sistem menghasilkan torsi 41,8 N dengan tetap mempertahankan efisiensi 42,1%. Namun, efisiensi menurun dengan RPM. Pada RPM 384.0, sistem menghasilkan torsi 0%, tetapi efisiensinya turun menjadi nol. Pada RPM 432.0, sistem menghasilkan torsi yang cukup besar yaitu 0,308 N.

4.3. Pengaruh Input dan Output Terhadap RPM

Tabel 4. 4 Pengaruh Input & Output Power Terhadap RPM

MAGNET UKURAN 2,2MM			MAGNET UKURAN 2,6MM			MAGNET UKURAN 3,0MM		
Input Power (Watt)	Output Power (Watt)	RPM	Input Power (Watt)	Output Power (Watt)	RPM	Input Power (Watt)	Output Power (Watt)	RPM
488.9 Watt	205.5 Watt	50.3	489.11 Watt	205.84 Watt	48.95	489.14 Watt	206.07 Watt	48
691.5 Watt	408.4 Watt	100.5	695.25 Watt	409.66 Watt	97.91	698.33 Watt	410.84 Watt	96
887.8 Watt	605.7 Watt	150.8	890.07 Watt	607.3 Watt	146.86	891.08 Watt	608.8 Watt	144
1068.9 Watt	787.0 Watt	201.1	1078.2 Watt	792.97 Watt	195.82	1078.5 Watt	795.09 Watt	192
1158.9 Watt	902.5 Watt	251.3	1173.7 Watt	913.2 Watt	244.77	1182.3 Watt	921.68 Watt	240
837.5 Watt	708.8 Watt	301.6	877.42 Watt	739.33 Watt	293.73	907.5 Watt	764.32 Watt	288
343.1 Watt	294.5 Watt	351.9	364.58 Watt	312.99 Watt	342.68	381.07 Watt	328.66 Watt	336
41.7 Watt	0 Watt	402.1	43.501 Watt	0 Watt	391.63	43.253 Watt	0 Watt	384
-453.4 Watt	-389.5 Watt	452.4	-465.63 Watt	-398.78 Watt	440.59	-469.47 Watt	-402.48 Watt	432.0
-1047.0 Watt	-915.5 Watt	502.7	-1086 Watt	-946.85 Watt	489.54	-1112.1 Watt	-969.79 Watt	480.0

putaran (RPM). Perubahan yang lebih besar pada daya atau listrik akan meningkatkan RPM, karena peningkatan kecepatan motor. Sebaliknya, perubahan yang lebih besar pada putaran di hub roda motor akan menurunkan RPM, karena motor perlu mengerahkan lebih banyak tenaga untuk mempertahankan kecepatan. Oleh karena itu, baik input maupun output memiliki dampak yang signifikan terhadap RPM pada hub roda motor. Oleh karena itu, sangat penting untuk menyeimbangkan faktor-faktor ini dalam pengoperasian dan pemeliharaan hub roda motor untuk mencapai kinerja yang diinginkan.

4.4. Pengaruh Input dan Output Terhadap Torque

Hubungan antara daya input dan output sangat kompleks, dengan torsi meningkat dengan meningkatnya daya input dan torsi menurun dengan meningkatnya daya output. Hal ini menghasilkan hubungan di seluruh sistem, dengan efisiensi yang memengaruhi rasio daya input ke daya output, yang dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti torsi, daya input, daya output, dan torsi. Hubungan antara daya input dan torsi adalah signifikan, karena sistem mengurangi torsi dengan meningkatnya daya input.

Tabel 4. 5 Pengaruh Input & Output Power Terhadap Torque

MAGNET UKURAN 2,2MM			MAGNET UKURAN 2,6MM			MAGNET UKURAN 3,0MM		
Input Power (Watt)	Output Power (Watt)	Torque (Nm)	Input power (Watt)	Output power (Watt)	Torque (Nm)	Input Power (Watt)	Output Power (Watt)	Torque (Nm)
488.9 Watt	205.5 Watt	40.0 Nm	489.11 Watt	205.84 Watt	41.01 Nm	489.14 Watt	206.07 Watt	41.8 Nm
691.5 Watt	408.4 Watt	39.9 Nm	695.25 Watt	409.66 Watt	40.93 Nm	698.33 Watt	410.84 Watt	41.7 Nm
887.8 Watt	605.7 Watt	39.6 Nm	890.07 Watt	607.3 Watt	40.66 Nm	891.08 Watt	608.8 Watt	41.4 Nm
1068.9 Watt	787.0 Watt	39.2 Nm	1078.2 Watt	792.97 Watt	40.38 Nm	1078.5 Watt	795.09 Watt	41.1 Nm
1158.9 Watt	902.5 Watt	37.1 Nm	1173.7 Watt	913.2 Watt	38.31 Nm	1182.3 Watt	921.68 Watt	39.3 Nm
837.5 Watt	708.8 Watt	34.5 Nm	877.42 Watt	739.33 Watt	35.52 Nm	907.5 Watt	764.32 Watt	36.2 Nm
343.1 Watt	294.5 Watt	26.4 Nm	364.58 Watt	312.99 Watt	28.05 Nm	381.07 Watt	328.66 Watt	29.4 Nm
41.7 Watt	0 Watt	20.7 Nm	43.501 Watt	0 Watt	20.68 Nm	43.253 Watt	0 Watt	20.7 Nm
-453.4 Watt	-389.5 Watt	16.0 Nm	-465.63 Watt	-398.78 Watt	15.72 Nm	-469.47 Watt	-402.48 Watt	15.5 Nm
-1047.0 Watt	-915.5 Watt	12.4 Nm	-1086 Watt	-946.85 Watt	11.67 Nm	-1112.1 Watt	-969.79 Watt	11.2 Nm

Variasi sensitivitas magnet dapat memengaruhi distribusi torsi dan daya, sehingga memerlukan analisis lebih lanjut untuk memahami dampaknya terhadap efisiensi dan kinerja sistem. Hubungan antara daya input dan output ditemukan dalam dua set eksperimen, memberikan wawasan tentang karakteristik sistem dan perubahan potensial dengan variasi daya input dan output. Efisiensi didefinisikan dengan mengubah input dan output, dengan perubahan signifikan yang terjadi ketika input input lebih tinggi daripada input output, yang menunjukkan perubahan perilaku sistem. Hubungan yang kompleks antara daya input dan output sangat penting untuk memahami kinerja dan efisiensi sistem.

4.5. Perbandingan Efisiensi Ketebalan Magnet Pada BLDC Motor

Efisiensi magnet pada hub motor BLDC bergantung pada rasio magnet dan non-magnet. Magnet NdFeB, yang terbuat dari Neodymium Iron Boron, sangat ideal untuk berbagai aplikasi seperti motor, generator, dan sirkuit elektronik. Kekuatan magnetnya yang tinggi membuatnya aman dari korosi, karena kekuatan magnetnya yang tinggi sangat penting untuk mencegah kerusakan atau kegagalan pada sirkuit. Oleh karena itu, pilihan magnet dan non-magnet sangat penting untuk kinerja dan efisiensi motor.

Tabel 4. 6 Perbandingan Efisiensi Terhadap Variasi Ketebalan Magnet

Magnet 2,2mm	Magnet 2,6mm	Magnet 3,0mm
Efficiency (%)	Efficiency (%)	Efficiency (%)
42.04 %	42.08 %	42.13 %
59.07 %	58.92 %	58.83 %
68.23 %	68.23 %	68.32 %
73.62 %	73.55 %	73.72 %
77.87 %	77.80 %	77.95 %
84.64 %	84.26 %	84.22 %
85.85 %	85.85 %	86.25 %
0 %	0 %	0 %
85.90 %	85.64 %	85.73 %
87.44 %	87.19 %	87.20 %

Tabel 4.6 tersebut menunjukkan dampak dari ketebalan magnet pada hub roda motor BLDC dibandingkan dengan berbagai jenis magnet. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan magnet juga meningkatkan kinerja motor. Efisiensi magnet ketebalan magnet bervariasi antara 2.2mm dan 3.0mm, dengan efisiensi yang lebih tinggi pada 2.2mm dan 42.13% pada 3.0mm.

4.6. Torsi Batasan

Torsi batasan yang digunakan pada motor listrik adalah torsi maksimum yang dapat membantu stabilasi dan efisiensi sistem. Torsi tinggi dapat menyebabkan kerusakan komponen dan memperpendek usia motor, yang dapat membantu stabil dan kegagalan sistem. Torsi batasan adalah torsi batasan yang dapat ditentukan dengan melihat nilai maksimum dari data torsi.

Tabel 4. 7 Batasan Torsi

Torque Limitation					
Magnet 2,2mm	Magnet 2,6mm	Magnet 3,0mm	Magnet 2,2mm	Magnet 2,6mm	Magnet 3,0mm
RPM	RPM	RPM	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)
50.3	49.0	48.0	40.0 Nm	41.0 Nm	41.8 Nm
100.5	97.9	96.0	39.9 Nm	40.9 Nm	41.7 Nm
150.8	146.9	144.0	39.6 Nm	40.7 Nm	41.4 Nm
201.1	195.8	192.0	39.2 Nm	40.4 Nm	41.1 Nm
251.3	244.8	240.0	37.1 Nm	38.3 Nm	39.3 Nm
301.6	293.7	288.0	34.5 Nm	35.5 Nm	36.2 Nm
351.9	342.7	336.0	26.4 Nm	28.1 Nm	29.4 Nm
402.1	391.6	384.0	20.7 Nm	20.7 Nm	20.7 Nm
452.4	440.6	432.0	16.0 Nm	15.7 Nm	15.5 Nm
502.7	489.5	480.0	12.4 Nm	11.7 Nm	11.2 Nm

5. Kesimpulan

Penelitian ini berfokus pada modifikasi hub motor BLDC dengan menganalisis pengaruh torsi magnet dan RPM. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa hub motor DC tanpa sikat dengan mengidentifikasi magnet magnet yang sesuai. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Ansys Motor CAD untuk mensimulasikan hub motor dan memodifikasinya. Penelitian ini berkontribusi dalam memahami industri motor hub motor di Indonesia, dengan fokus pada modifikasi magnet dan kemajuan teknologi. Studi ini memvalidasi hasil simulasi untuk motor hub dan motor yang telah dimodifikasi menggunakan perangkat lunak Ansys Motor CAD. Penelitian ini juga menganalisis perubahan magnet pada motor hub roda, yang berkontribusi pada pengetahuan kita tentang industri motor hub motor di Indonesia. Penelitian ini memvalidasi hasil simulasi untuk motor hub roda yang telah dimodifikasi dan magnet magnet. Hal ini dapat digunakan sebagai alat baru untuk mendesain motor hub roda yang lebih efisien dan tahan lama di lapangan.

Saran

Penelitian ini secara signifikan memberikan kontribusi terhadap pemahaman industri motor hub motor di Indonesia, khususnya di bidang perubahan magnet pada hub motor. Temuan utama meliputi pengembangan teknologi lokal, optimasi motor hub roda, kolaborasi industri, dan studi tentang material magnet. Penelitian ini memvalidasi hasil simulasi dan menawarkan rekomendasi untuk mengoptimalkan motor hub roda, yang mengarah pada peningkatan efisiensi dan kualitas di pasar lokal.

Penelitian ini juga menyoroti pentingnya kolaborasi antara penelitian dan industri otomotif, dengan fokus pada material yang optimal untuk hub motor. Penelitian ini juga menekankan perlunya pengetahuan tentang teknologi baru, seperti produksi motor, mekanik, dan pengembangan peralatan, untuk memotivasi industri untuk berinovasi dan mempertahankan posisi Indonesia di industri otomotif. Studi ini juga menyarankan pengembangan program pendidikan dan pelatihan yang lebih baik di sektor teknologi motor, untuk membina tenaga kerja yang lebih terampil.

Referensi

- [1] N. S. Kumara, "Tinjauan Perkembangan Kendaraan Listrik Dunia Hingga Sekarang."
- [2] "Desain dan Analisis Motor Arus Searah Shunt Eksitasi Sendiri 750 W."
- [3] R. Dewi, "Efek Duty Cycle Pwm pada Pengendalian Kecepatan Motor BLDC 3 Fasa," 2018.
- [4] D. G. Ramdhany, N. Hiron, and N. Busaeri, "Modifikasi Motor Brushless DC Menjadi Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Radial Putaran Rendah," Oktober.
- [5] S. Sriyanto, R. Arif Pratama, I. Permana, M. Ikhsan, and S. Bayu Setiajit, "Analisis Peningkata Daya Motor Listrik Terhadap Penggunaan Ukuran Propeller Pada Kecepatan Motor DC Brushless," *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 38–43, Jul. 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.588.
- [6] S. Kurniati, S. Syam, H. Artikel, and P. Korespondensi, "Pengaruh Variasi Penambahan Lapisan Magnet dan Jarak Celah Udara Rotor Terhadap Kinerja Motor DC Magnet Permanen Info Artikel ABSTRACT," *Jurnal Media Elektro*, doi: 10.35508/jme.v0i0.6497-Sri.
- [7] B. K. Lee and M. Ehsani, "Advanced BLDC Motor Drive for Low Cost and High Performance Propulsion System in Electric and Hybrid Vehicles."
- [8] S. M. M. Ieee, "A Low-Cost Four-Switch BLDC Motor Drive with Active Power Factor Correction."
- [9] K. I. Laskaris and A. G. Kladas, "Internal permanent magnet motor design for electric vehicle drive," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 1, pp. 138–145, Jan. 2010, doi: 10.1109/TIE.2009.2033086.
- [10] Y. C. Wu and Z. H. Sun, "Design and analysis of a novel speed-changing wheel hub with an integrated electric motor for electric bicycles," *Math Probl Eng*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/369504.
- [11] N. Borchardt, R. Kasper, and W. Heinemann, "Design of a Wheel-hub Motor with Air Gap Winding and Simultaneous Utilization of all Magnetic Poles."
- [12] F. Irsyadi, M. Arrofiq, B. Sumanto, and M. Sebastian, "Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Kecepatan Motor BLDC Hub Bergir Pada Sepeda Listrik".
- [13] T. Sutikno, "Diktat III Kuliah Kendali Motor: Motor Induksi: Medan Magnet, Produksi Torsi, Karakteristik Oprasi dan Rangkaian Ekvaleennya," 2018.
- [14] T. A. Shifat and J. W. Hur, "An Effective Stator Fault Diagnosis Framework of BLDC Motor Based on Vibration and Current Signals," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 106968–106981, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000856.

COMPLETE

Jurnal Mahasiswa Institut Teknologi Telkom Surabaya
Fakultas Teknologi Elektro dan Industri Cerdas



- [15] T. Huda, N. Indriani P, and M. E. Gozali, "Pengaruh Jarak Air Gap pada Performace Motor Brushless Direct Current Jenis Exterior Rotor," *SPECTA Journal of Technology*, vol. 1, no. 3.
- [16] A. B. Proca, A. Keyhani, A. El-Antably, W. Lu, and M. Dai, "Analytical model for permanent magnet motors with surface mounted magnets," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 18, no. 3, pp. 386–391, Sep. 2003, doi: 10.1109/TEC.2003.815829.
- [17] J. F. Gieras, *Permanent magnet motor technology : design and applications*. CRC Press, 2010.
- [18] D. Rohman Nurdiansyah, S. Aditya Putra, R. Azimansyah, B. Dwi Kurniawan, A. Dasilva Rustandy Putra, and Mh. Fatkhurahman, "Pengaruh Daya dan Torsi Untuk Performa Sebuah Mesin Effect Of Power And Torque The Performance Of A Machine."
- [19] A. Cahyadi, D. Pembimbing Dimas Anton Asfani, D. Candra Riawan, and D. TEKNIK ELEKTRO Fakultas Teknologi Elektro, "Optimalisasi Desain Motor Brushless DC 1 KW Untuk Mengurangi Torsi Cogging Pada Kendaraan Listrik."